

# 津波被害を受けた福島県相馬市水田の 土壌物理性と地下水の塩分濃度

中村貴彦\*・藤川智紀\*・細野 衛\*\*・駒村正治\*\*\*

(平成 25 年 5 月 23 日受付/平成 25 年 10 月 18 日受理)

**要約：**東日本大震災での津波被害を受けた水田では、被災面積の広さから復興が追いついてない。津波による塩害の対策では低コストで省労力が求められる。本研究では福島県相馬市日下石地区の水田を対象に、被災後の水田土壌の物理性および地下水中の塩分濃度の変化を明らかにすることで、畝立て栽培による、農地再生の可能性について考察することを目的とした。土壌調査の結果、作土層および畝部の土壌は乾燥密度が小さく、透水係数が大きく、微細間隙、粗間隙ともに大きく、排水性および保水性は良好であることが明らかとなった。また耕盤は乾燥密度が大きく、粗間隙率が小さいわりに、飽和透水係数が一般の水田土壌と比較して大きいものに対して、基盤の飽和透水係数が  $10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  と小さいことが湛水を可能としているものと判断された。2011 年度の調査対象水田において畝立てによる畑作物を栽培した結果、畝部において乾燥化が促進することで、半湿田ではあるが畑作が可能であった。このように圃場によっては特別な施工対策をすることもなく、栽培管理のしかたで塩害対策となる可能性があることが示唆された。地下水の塩分濃度は 2011 年 7 月に 0.3% 程度であり稲作には適さない水質であったが、経時的に減少し、2011 年 10 月には 0.08% を示し、稲作には支障のない値まで低下したことが明らかとなった。

**キーワード：**水田、土壌物理性、地下水、塩分濃度、津波

## はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災での津波は、東北地方の広範囲に種々の影響を及ぼした。農林水産省は津波により被害を受けた農地は東北 3 県を中心に 23,600 ha、このうち福島県は 5,900 ha に及ぶと発表しており<sup>1)</sup>、相馬市はそのうち 1,000 ha をこえるとも言われている。津波による農地への海水の浸入は、地震後に生じた地盤沈下により、周囲の地下水位の相対的上昇につながり、排水路水位に影響を及ぼす。その結果、水田内の地下水位の低下に支障を生じることになり、当初計画されていた除塩の進展が阻害され、より深刻なものとなっている。

津波による農地被害は、その程度により次の 4 つに分類できる。すなわち、

- ① 海水の浸入のみの被害、
- ② 海水の浸入に加えて、引き波後、数 cm 程度の深さでヘドロが堆積した被害、
- ③ 海水の浸入とヘドロ堆積に加えて、さらに瓦礫が堆積した被害、
- ④ 海水の浸入とヘドロ、瓦礫の堆積に加えて、さらに地盤沈下が生じた被害、である。

これらは農地土壌へ次のような影響を及ぼすと考えられる。すなわち、

(a) 海水中の塩分が農地土壌に蓄積することによっておこる塩害、

(b) 過剰の塩分の浸入やヘドロの堆積、海砂の堆積による土壌の理化学性の悪化、

(c) 作土層の浸食、などである。

1999 年 9 月、熊本県不知火干拓地は台風 18 号の高潮によって、約 1,420 ha の水田が冠水する被害を受けた<sup>2)</sup>。前述の区分に従えば、①の程度の被害であったが同県はその対策として用排水路を整備し、灌漑による塩の洗脱、石灰の投入によるナトリウムの置換除去、酸性改善を実施し、被災した翌年からの稲作を可能にした。また千葉らは 2011 年の東日本大震災後の宮城県水田圃場において海水の浸入により塩害を受けた水田（前述した農地被害の分類①、それによる影響 (a) に相当）の対策として、暗渠の施工や耕起の実施、灌漑水の利用を検証し、その有効性を示している<sup>3)</sup>。

これらの方法は、排水機能が良好に働いている場合は有効である。除塩の目的で灌水し塩分を洗脱させる方法に加えて、水田の場合は湛水することで塩分が溶出するので水田の湛水も洗脱の方法として考えられるが、これらの方法は結局は溶出した高濃度の塩分を含む水を排出する排水路が整備されていなければ、有効な方法とはなりえない。相馬市の海岸付近の水田地帯では、地盤沈下によりいわゆる

\* 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\*\* 東京農業大学非常勤講師

\*\*\* 東京農業大学名誉教授



図 1 調査圃場の位置 (★)<sup>4)</sup>

0メートル地帯が発生し、さらに水源および周辺の多くの灌漑排水施設が被害を受けた。用排水路を一体的に整備するには、被災面積が広すぎて間に合っていない。前述した熊本県の事例のような塩害に対して、除塩を行おうとしても用排水路の整備が行き届かず、排水不良となり塩害が継続していると推測される。

そこで本研究では津波を受けた相馬市沿岸地帯の中で、海水の浸入のみの被害程度で塩害が発生している水田について、水田土壌の物理性および地下水中の塩分濃度の変化を明らかにすることで、農地再生の可能性について考察することを目的とした。

## 調 査 方 法

### (1) 調査対象圃場

本研究の調査圃場が位置する相馬市日下石（につけし）地区は昭和55年からの灌漑排水事業により用排水路は整備されており、平成7年からは圃場整備事業も進行中であった。土壌物理性および地下水中の塩分濃度の測定を行った調査圃場の位置は図1に示す通りである。内陸部丘陵地帯に水源を持ち東進し、松川浦南端に流出する2級河川日下石川流域にある、海岸から直線で約3km上流にある水田で、例年単作で水稻作を行っている。昭和55年から開始された灌漑排水事業により、本地区には松ヶ房ダムを水源とした用水路がパイプラインで埋設され、最下流に排水機場をもつ排水路がコンクリート明渠で敷設されている。

本水田は図2に示す通り、農道及び用水路に隣接する辺長60m、排水路側の辺長73m、山側で隣接する水田との境界が55m、海側で隣接する圃場は北側との境界が44m、南側が33mである5角形として整備されている。面積は約46aで、この圃場整備地区の標準区画面積とほぼ同程度の広さである。また本水田は、海側に向かって緩やかに下っている傾斜地にあり、隣接する山側の水田の田面は本水田よりも50cmほど高く、海側の田面は60cmほど低くなっている。なお2011年5月の聴き取り調査において、この付近の水田では津波により10～15cmの海水を冠水したこと、調査圃場では排水路を遡上してきた海水が排水口より圃場内に浸入したこと、そして翌日には冠水は引いていたということを確認した。農地被害の程度は前述した①に分類できる圃場であった。

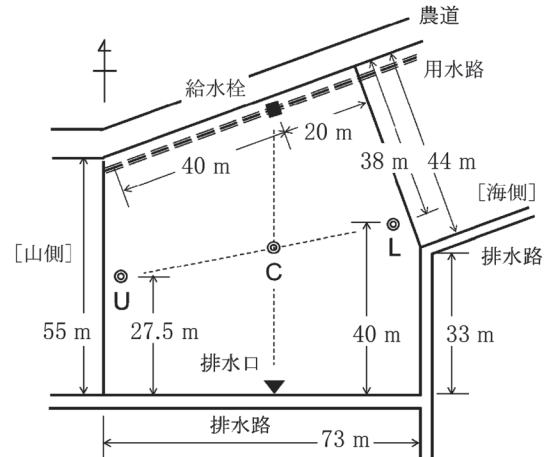


図 2 調査圃場の概要および観測位置 (◎)  
U (山側), C (中央), L (海側)

2011年、用排水路の損傷による機能停止のため稲作は実施できなかったが、塩害に強いと考えられるトウモロコシとヒマワリの栽培は行われた。播種前、酸性矯正のため、石灰を100kg/10a投入し、25cmほど畝立てした後、7月22日に播種した。播種前の耕起は行っていないが、畝立ての際に作土層付近は攪乱された。播種後の灌漑や追肥等を行っていない。

### (2) 調査項目および測定方法

本水田における主な調査項目は、土壌断面、土壌の物理性、土壌水分変動、地下水位および塩分濃度などである。地下水位の測定は、調査水田内において、図2に示す通り、山側(U)、中央部(C)、海側(L)の3地点を選定した。地点UとLはそれぞれ、隣接する水田との境界にある畦畔から4m離れた位置であり、地点Uは南側排水路から27.5m、地点Lは農道から測って39m、かつ南側排水路から測って39mの位置にある。地点Cは圃場のほぼ中央であり、UとLを結んだ直線と、山側から農道に沿って測って40mの位置において南北に引いた直線との交点付近である。

土壌断面調査を2011年6月24日および11月8日に行い、6月24日の調査時には土壌採取を行った。なお6月は畑作物の播種前、11月は収穫後である。土壌物理性試験では、採取試料について以下の方法にて土壌物理性を測定した。飽和透水係数は変水位法で、pF水分特性はpF2.5までは加圧板法、それ以上を遠心法により測定した。さらに土壌水分張力の測定は、図2に示した地点Cを中心に南北方向に長さ10m、畝間隔1mの畝を15列造成し、畝部の深さ5, 15, 25, 35, 45cm、畝間の深さ5, 15, 25cmの位置にテンシオメータセンサー部を埋設して実施した。畝の形状および規模は図3に示す通りで、畝部幅40cm、畝間幅40cm、畝底幅60cmおよび畝立高25cmの台形断面である。観測期間は7月1日から9月30日までの92日間とし、1時間の測定間隔でロガーに記録した。地下水位の測定は土中に埋設した塩ビ管内に水深測定センサー(HI-NET, HTV-020KP-05-V)を投入し、7月1日から10月21日までの113日間、U, C, Lの全3地点において1時



図 3 調査圃場の土壌断面および畝立て（2011 年 11 月 28 日）

表 1 調査圃場の基本的物理性

土層	土壌粒子密度 g/cm <sup>3</sup>	自然含水比 %	乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	間隙率 %	飽和透水係数 cm/s	強熱減量 %
作土 (上)	2.63	30.4	1.08	58.9	$4.1 \times 10^{-3}$	5.2
旧作土	2.60	32.0	1.14	56.2	$2.3 \times 10^{-3}$	6.2
耕盤	2.62	27.5	1.42	45.8	$9.2 \times 10^{-4}$	7.8
基盤	2.64	46.6	1.16	56.1	$1.4 \times 10^{-5}$	9.5

間隔で自動計測した。地下水中の塩分濃度の測定は、地点 L でのみ 7 月 21 日から 12 月 10 日までの期間において塩分計（HOBO, U24-001）により 1 時間間隔で自動計測した。また、7 月 21 日から翌 2012 年 3 月 20 日までの全 3 地点で不定期に簡易塩分計（堀場製作所, B-173）による測定もおこなった。なお降水量は雨量計（日置電機, パルスロガー 3672）を使用して測定した。

## 結果および考察

### (1) 土壌断面

本研究で対象とした水田土壌の、11 月 28 日に行った断面調査結果は、図 3 に示す通りである。図中の深さ 10～15 cm までの作土 (上) 層は畝立てのために盛り土した部分で、15 cm 以深には盛り土前にあった従来の作土 (旧作土と記述) が存在し、作土 (上) 層と合わせて畝部を形成していた。畝部においては 25 cm 以深、畝間においては作土層以深はともに 6 月 24 日調査時の状況とほぼ同様であった。耕盤は深さ 30 cm の位置から下方に厚さ 20 cm の密な層が形成されていたが、耕盤としての発達は弱く。基盤との境界は不明瞭である。6 月の調査時に測定した山中式硬度の値は、耕盤で最大値の 23 mm (約 0.98 MPa) であり、密な組織であることを示したことや、土色が黒褐色と暗緑灰色、腐植量が H3 (含む) と H1 (あり)、土性が LiC と HC といった違いやグライの状況などから耕盤と基盤を区別した。なお、土性は断面調査時に指の感触によって分類した。地下水位は畝部上から深さ約 50 cm (田面下 35 cm) にあり、地下水の位置から半湿田に分類される<sup>5)</sup>ことが明らかとなった。

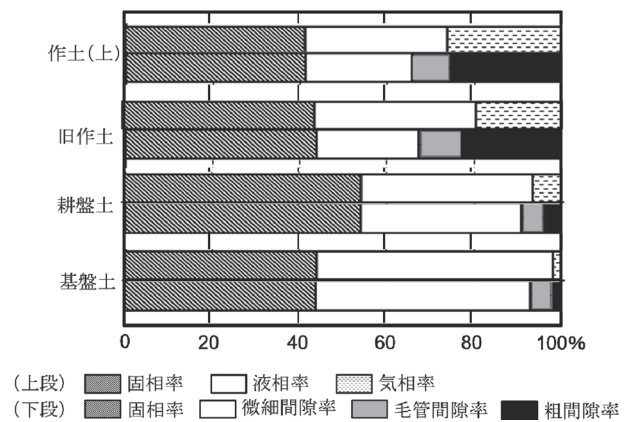


図 4 調査圃場の三相割合と間隙率組成

### (2) 土壌の基本的物理性

土壌の基本的物理性の測定結果は表 1 に示す通りである。なお試料採取日の 6 月 24 日の 3 日前及び前日にそれぞれ 20.5, 9.5 mm の降雨を観測している。表 1 に示す通り、土粒子密度および強熱減量は 4 層とも同程度の値を示しているが、耕盤では含水比は小さく (28%), 固相率 (54%) や乾燥密度 ( $1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) は大きな値である。しかしながら耕盤の飽和透水係数はおよそ  $10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  オーダーと一般の水田土壌の耕盤と比較して大きい、一方、基盤の飽和透水係数が  $10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  が小さいことが灌水を可能としているものと判断される。

土壌の三相割合と間隙率組成は図 4 に示す通りである。



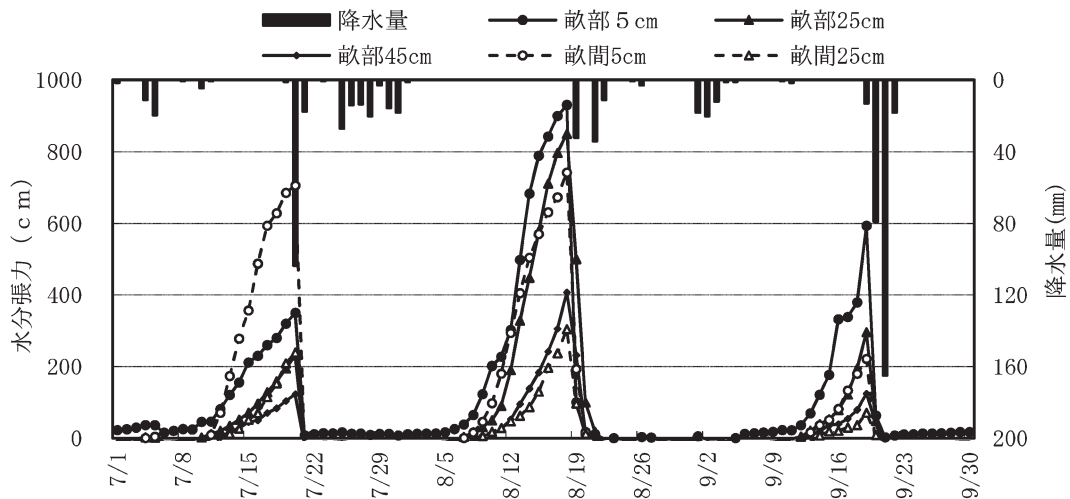


図5 調査圃場の水分張力の変化

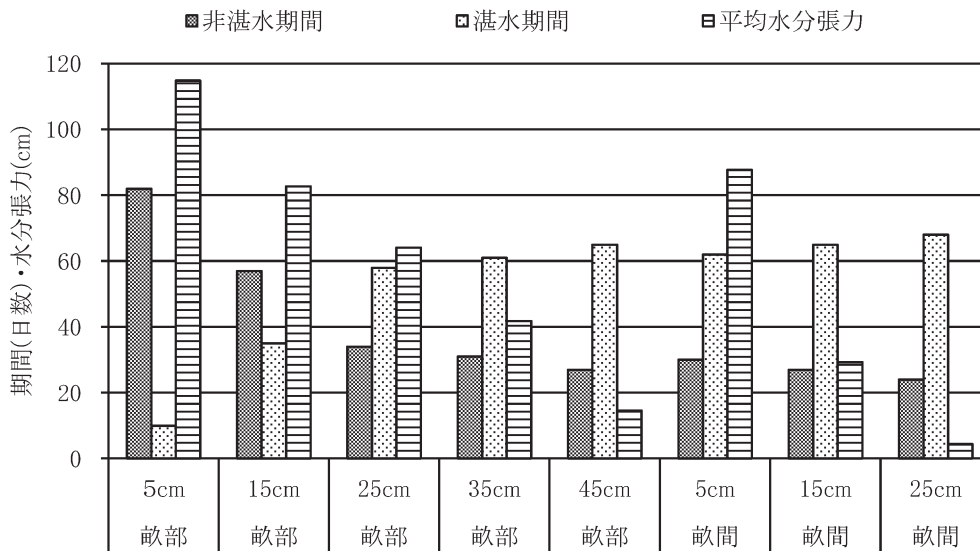


図6 テンシオメータ埋設深における灌水・非灌水日数および平均水分張力

図4では各土層において上段が三相割合，下段が間隙率組成を表している。間隙率組成は， $pF3.0$ 以上を微細間隙， $pF1.8$ 以下を粗間隙，およびその間の $pF1.8 \sim 3.0$ を便宜的に毛管間隙とした。三相割合について，耕盤の固相率が大きいこと，基盤の気相率が小さいことが顕著である。間隙率組成について，粗間隙率が作土で大きく，耕盤以下が小さいことが対照的である。さらに，毛管間隙率についてみると，作土で比較的大きく，耕盤以下が小さいことが特徴といえる。特に毛管間隙率の割合は，畑地灌漑計画生長有効水分量に相当し，土壌の保水性の評価に直結するため重要である。

### (3) 土壌水分張力

土壌水分張力は $100\text{ cmH}_2\text{O}$ （約 $9.81\text{ kPa}$ ）が $pF2$ ， $1000\text{ cmH}_2\text{O}$ が $pF3$ に相当し，乾燥状態にあるとき水分張力は大きくなり，湿潤状態にあるとき小さくなる。本水田の水分張力の土層別変化は図5に示す通りである。同じ図

に日降水量も記載した。土壌深度にかかわらず，無降雨期間に浸透や蒸発によって乾燥化が進行し，水分張力は増加し，降雨によって湿潤状態となり，水分張力は急減することを確認した。

図5において，降水量と水分張力の値が変化についてみると，7月20日までの期間は，畝間の水分張力が急激に上昇した。これに対して畝部の水分張力の増加傾向はそれほど顕著でない。この理由についてみると畝立後では畝部と畝間の土壌間隙率でみたように毛管間隙率の違いが挙げられる。すなわち作土と耕盤との保水性の差異である。土壌水分の減少量は，畝部と畝間とではそれほど差はみられないが，毛管間隙率の多い畝立部と少ない畝間では，少ない畝間の方が相対的に水分張力値が増大する傾向にあるためと考えられる。このことは，図5より7月22日の播種以降，晴天が続く8月以降では，作物の根群域からの土壌水分吸収が活発となり，畝部において水分張力の値が急激に上昇していることが明らかであるといえる。その後，8

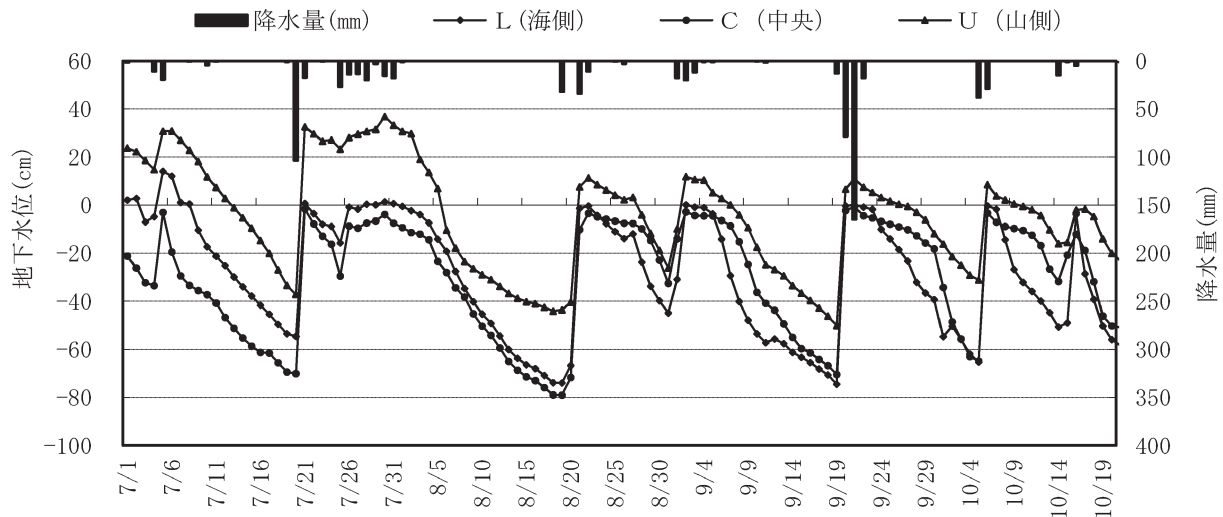


図7 調査圃場内の地下水位の変化

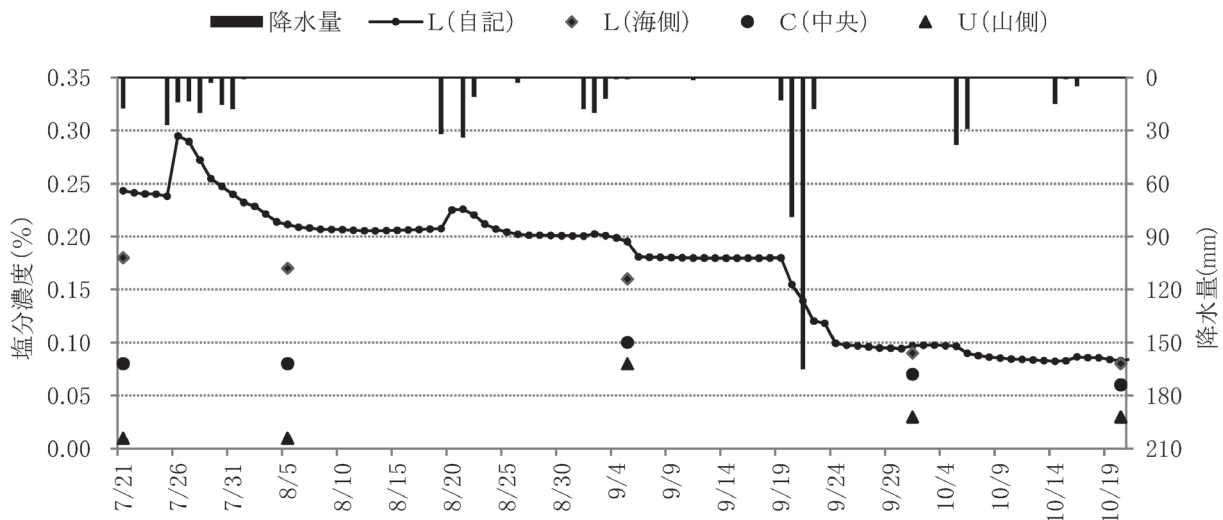


図8 地下水中の塩分濃度の変化

月19日からの降水量により水分張力値は、増加せず低いまま経過し、その後9月20日には、台風による大雨があり、再び水分張力が低下して湿潤ないし湛水状態となった。

このような状況を確認するために、観測期間92日間における平均水分張力、湛水状態としての水分張力値の正圧期間日数および非湛水状態としての負圧期間日数の発生日数を整理したものを図6に示す。本水田ではおよそ25cm程度畝立てしたことにより、テンシオメータの埋設深は、畝間5cmが畝部25cmに、畝間15cmが畝部35cm、畝間25cmが畝部45cmに対応するといえる。図6の結果から畝部と畝間に注目してみると、畝間の深さ5cmにおける水分張力は、畝部の深さ25cmに、畝間の深さ15cmは畝部の35cmおよび畝間の深さ25cmは畝部の45cmに相当している。すなわち畝部と畝間における水分張力は、埋設深さの差(25cm)程度の差となっていた。なお、畝部の深さ5cmの湛水日数は10日程度と最少、平均水分張力値は115cmで最大であり、乾燥が最も進んだ結果であった。

このように今回半湿田に畝立てを実施したことにより、乾燥化の促進により過湿となることが避けられた。このことは、地下水位の高い地域における畑作の可能性を示す要因であると考えられた<sup>6)</sup>。

#### (4) 地下水位

地下水位の変化は図7に示す通りである。無降雨により地下水位は低下し、降雨により上昇し、最大80cmほど変動することが明らかとなった。さらに中央部(C)と海側(L)よりも山側(U)の方が地下水位はつねに高くなっていた。この地区の圃場は海に向かう緩傾斜地にあり、隣接する山側の水田の田面は本水田よりも50cmほど高く、海側の田面は60cmほど低くなっている。このため平均的な地下水位も海に向かって低くなっていることが考えられるため、地下水位の平均値をみると山側が-8cm、中央が-28cmおよび海側が-30cmであった。すなわち、本圃場は山側からの浸透水による地下水の影響を受けているもの

と思われる。特にこの年、隣接山側水田では、大きな被害がなかった近隣のため池から、農家の手で修復された用水路を通して導水し、水稻作が行われていたため、この水田からの浸透水の影響も考えられる。しかし、8月20日以降は、山側地点における地下水位の差が小さくなった傾向がみられた。この原因として考えられることは、山側水田の湛水がなくなったことがあげられる。このように非灌漑期において3地点の差が小さくなったことから浸透水による影響が示唆される。今後、さらに稲作が再開されれば、隣接水田の地下水環境を良好にし、ますます本地区での水田の再生が進んでいくことが期待される。

#### (5) 地下水中の塩分濃度

地下水中の塩分濃度変化は図8に示す通りである。前述した通り、傾斜地であることや、隣接水田の浸透の影響が考えられること、さらに期間中に降雨があったことから、塩分濃度は7月下旬の測定開始時に海側で0.3%程度もあったが、その後漸減し、9月以降、ほぼ0.1%で一定となった。図8には降水量の値も掲載しているが、連続した降雨があった7月25日～31日の間の連続降雨および9月19～22日の台風による豪雨時の後において塩分濃度が低下していることが明らかとなった。なお、塩分濃度が増加する場合も見られたが、これら塩分濃度の測定時における土壌水分量や、地下水の流れなど測定していないため、それらの増加の原因については特定できなかった。

なお、簡易塩分計での塩分濃度の測定結果は、圃場の山側(U)よりも海側(L)でつねに高い値を示していた。山側の値が海側より低い理由は、水稻作を実施した隣接水田からの塩分濃度の低い浸透水による希釈効果が表れた結果といえる。

非灌漑期(非湛水状況)の9月4日には山側の塩分濃度が上昇し、海側の差が小さくなっていることから、そのことが示唆される。さらに、9月19～21日の大雨のあと、3地点における塩分濃度はほぼ同様に減少していることがうかがえる。なお、自記観測による塩分濃度に対して簡易塩分計での測定値がやや小さい傾向にあることの理由については明らかにすることができなかった。水稻の灌漑水中の許容塩分濃度に関して、生育段階で異なるがCl濃度で300～500 mg/L以下を安全値、700 mg/Lを警戒値とする<sup>7)</sup>ものがある。NaCl溶液濃度で考えると、0.06～0.1%以下が安全値となる。本圃場では10月頃に0.1%まで低下し、さらにその後、2012年2月10日時点で塩分濃度が0.06%となり、低下程度は小さいものの、稲作が十分可能な塩分濃度まで下がってきているといえる。

## おわりに

本研究では福島県相馬市日下石地区の水田を対象に、被災後の水田の土壌物理性および地下水中の塩分濃度の変化を明らかにすることで、農地の再生の可能性について考察することを目的とした。調査の結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 本水田土壌の畝部の作土は乾燥密度が小さく、透水

係数が大きく、微細間隙、粗間隙ともに大きく、排水性および保水性は良好であった。耕盤は乾燥密度が大きく、粗間隙率が小さいわりに飽和透水係数が比較的大きく、湛水機能はそれほど大きくないが、基盤層が湛水機能の役割を果しているといえる。

(2) 2011年度、本水田において畝立てを行い畑作物としてトウモロコシとヒマワリを栽培した結果、畝部において乾燥化が促進することで半湿田ではあるが、畑作が可能であることが示唆された。水分張力からみて、畝部と畝間の差異が明らかであり、畝部において水分張力の値が大きく、乾燥程度が進み、このことが畑作物の栽培の可能性につながるといえる。

(3) 地下水位は降雨の有無により低下・上昇を繰り返し、最大80 cmほども変動することが明らかとなった。さらに圃場内における地下水位は中央部と海側よりも山側の方がつねに高くなっていた。これは緩傾斜地水田などにみられる現象であり、山側が高く、海側が低い傾向がある。

(4) 地下水の塩分濃度は2011年7月に0.3%程度であり稲作には適さない水質であったが、経時的に減少し、2011年10月には0.1%以下となり、稲作栽培可能な限界値以下になり、稲作には支障のない値まで低下したことが明らかとなった。

以上より、調査対象水田は半湿田であり、隣接水田から地下水の影響を受けていることが想定され、それに加えて降雨により塩分濃度が減少していることが明らかとなったことから、さらには、畝立てを従来の作土層の2倍程度の高さ25～30 cmを確保することで、畝部において乾燥化が促進されたことから、畑作については栽培可能であることが示唆された。

**謝辞：**本研究は東京農業大学東日本支援プロジェクト(代表者：門間敏幸教授)において実施いたしました。現地調査には、相馬市役所の職員および福島県元職員である大谷裕行氏と只野須寿夫氏を始め多くの県職員の方々と、さらに調査圃場の所有者である荒昌雄氏には、多大なご協力をいただきました。ここに関係者に対し、記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部：東日本大震災(津波)による農地の推定被害面積、(<http://www.maff.go.jp/j/tokei/saigai/pdf/shinsaipdf/>) (最終アクセス2013年8月20日)
- 2) 兼子健男, 村川雅己, 小財伸, 身次幸二郎(2002) 塩類が集積した水田の暗渠排水を利用した急速除塩技術. 農業土木学会誌. 70: 611-614.
- 3) 千葉克己, 加藤 徹, 富樫千之, 冠秀昭(2012) 縦浸透除塩の有効性と宮城県津波被災農地の除塩対策. 農業農村工学会誌. 80: 527-530.
- 4) 国土地理院：国土地理院地図閲覧サービス、(<http://watchizu.gsi.go.jp/>) (最終アクセス2013年8月20日)
- 5) 多田 敦(1998) “水田の土壌” 新版農地工学, 文永堂出版, 31-34.
- 6) 土壌物理学会編(2002) “14. 土壌改良, 農地造成・整備” 新編土壌物理用語事典, 養賢堂, 157-158
- 7) 松丸恒夫, 古川雅文(1995) 作物の塩化ナトリウム過剰障害と塩分限界濃度. 農業および園芸. 70: 475-479.

# Soil Physical Properties and Underground Water Salt Concentration in Paddy Fields Affected by Tsunami in Soma City, Fukushima Prefecture

By

Takahiko NAKAMURA\*, Tomonori FUJIKAWA\*, Mamoru HOSONO\*\*  
and Masaharu KOMAMURA\*\*\*

(Received May 23, 2013/Accepted October 18, 2013)

**Summary** : Rehabilitation on tsunami devastated paddy fields during the east Japan earthquake has not yet been fully undertaken due to its extensive area. One of damages in paddy field caused by tsunami is salinization. Low cost and less labor in implementing the rehabilitation of salt affected soil has been desired. The objectives of this study are: to find the soil physical properties and changes of salt concentration in underground water in the tsunami stricken paddy field and to evaluate the potential of restoring agricultural land for crop reproduction. The study area is a paddy field plot located in Nikkeshi District, Soma City, Fukushima Prefecture. Based on the results of the soil survey, it was found that the plow layer and furrow had lower dry density, higher percolation coefficient, and suitable drainage and water holding capacity. It was also indicated that plow layer soil had higher dry density, porosity rate in proportion to percolation coefficient was relatively higher and waterlogging capacity tended to be lower. On the other hand, the paddy field plot is characterized as imperfectly drained paddy field since its underground water level is at 50 cm. It was considered that water from underground layer rises, influencing its waterlogging capacity. In the year 2011, soil ridges were implemented for reclamation of paddy field plot to an upland field plot. The outcome indicated that soil dryness on ridges was improved even though the plot was an imperfectly drained paddy field. Therefore, it was concluded that paddy field affected by salinization during tsunami has higher potential to be reclaimed into an upland field. Particular kinds of infrastructure as strategy in this kind of farmland is not necessary but it is a method of cultivation management for rehabilitating salt affected farmlands. Although, the salt concentration in July 2011 was around 0.3% which is not suitable for rice cultivation and had decreased to around 0.08% in October 2011, difficulties in re-cultivation of rice also declined due to economic decline.

**Key words** : paddy field, soil physical property, underground water, salt concentration, tsunami

\* Department of Bioproduction and Environment Engineering, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Lecturer, Tokyo University of Agriculture

\*\*\* Professor Emeritus, Tokyo University of Agriculture